

Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften
„Friedrich List“

Diskussionsbeiträge aus dem
Institut für Wirtschaft und Verkehr

Nr. 2/97

Ulf Teubel

Wirkung von Straßenbenutzungsabgaben auf die Wohlfahrt
von Berufspendlern
- eine empirische Analyse -

Herausgeber:
Die Professoren des
Institutes für Wirtschaft und Verkehr

ISSN 1433-626X
Internet: <http://www.tu-dresden.de/vkiwv/VWL/aktuell/beitraege.htm>

Dresden, September 1997

Wirkung von Straßenbenutzungsabgaben auf die Wohlfahrt von Berufspendlern - eine empirische Analyse -

Ulf Teubel

**Technische Universität Dresden
Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“
Institut für Wirtschaft und Verkehr
Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre
01062 Dresden**

Oktober 97

- Zusammenfassung -

Über die Einführung von Straßenbenutzungsabgaben (Road Pricing) als ein Beitrag zur Lösung der (Straßen-)Verkehrsprobleme in städtischen Ballungsräumen wird zur Zeit in der Verkehrswissenschaft und -politik recht intensiv diskutiert. Dabei rücken immer mehr Fragen nach der gesellschaftlichen und politischen Akzeptanz von Road Pricing-Systemen in den Mittelpunkt des Interesses, da sie wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implementierung sind. Eine zentrale Frage in diesem Zusammenhang ist die nach den *Verteilungswirkungen*. Wer gewinnt und wer verliert bei der Einführung von Straßenbenutzungsabgaben und wie groß sind die Gewinne bzw. Verluste? In dieser Untersuchung wird dieser Frage exemplarisch für die Gruppe der Berufspendler nachgegangen. Gestützt auf Daten aus Dresden wird dazu ein binäres Logitmodell aufgestellt und ökonometrisch geschätzt. Mit Hilfe des geschätzten Modells erfolgt dann die Berechnung der Wohlfahrts- und Verteilungswirkungen einer Straßenbenutzungsabgabe für verschiedene Gruppen von Berufspendlern.

Stichworte: Straßenbenutzungsabgaben, Road Pricing, Verteilungswirkungen, Berufspendler

1. EINLEITUNG

Dauerstau, Luft- und Lärmbelastung durch einen ständig steigenden motorisierten Individualverkehr gehören mittlerweile zum Alltag in fast allen Großstädten der Welt. Da die bisherigen Versuche, diese Probleme in den Griff zu bekommen, - Ausbau der Verkehrsinfrastruktur, Förderung des öffentlichen Verkehrs, etc. - nicht den gewünschten Erfolg zeigten oder nur noch begrenzt möglich sind, rücken nunmehr andere, überwiegend ökonomische Lösungsvorschläge in den Mittelpunkt des Interesses. Zu diesen Vorschlägen zählt u.a. auch die Einführung von Straßenbenutzungsabgaben (Road Pricing). Abgaben für die Straßennutzung werden in der öffentlichen Diskussion dabei drei völlig verschiedene Aufgaben zugewiesen: sie sollen als *Umweltabgaben* einen Beitrag zur Verringerung der mit dem Straßenverkehr verbundenen Umweltbelastungen leisten, indem die durch die Straßennutzer verursachten negativen externen Effekte auf die Umwelt durch Abgaben internalisiert werden. Sie sollen als *Finanzierungsabgaben* helfen, die finanziellen Mittel für den Erhalt und den Ausbau des vorhandenen Straßennetzes zu beschaffen und den Straßennutzern ihre Wegekosten gerecht anzulasten. Und schließlich sollen sie als *Lenkungsabgaben* (Road Pricing im engeren Sinne, Congestion Pricing) erreichen, daß die Nachfrage nach dem knappen Gut „Straßennutzung“ so gelenkt wird, daß die Straßenverkehrsnachfrage über den Preis optimal an die vorhandenen, nur beschränkt ausbaufähigen Kapazitäten angepaßt und eine Überlastung der Straßen (= Staus) vermieden wird.

Der Einsatz von Abgaben zur Verkehrslenkung gilt unter Ökonomen seit langem als ein effizientes Mittel, um den Dauerstau, der in vielen Großstädten täglich herrscht, in den Griff zu bekommen.¹ Die Grundidee solcher Abgaben ist dabei die Internalisierung von externen Staukosten. Ab einem bestimmten Verkehrsvolumen verursacht jedes Fahrzeug, das ein Straßennetz (zusätzlich) befährt, einen negativen externen Effekt auf alle anderen Nutzer, die das Netz zur selben Zeit befahren. Deren zusätzlichen Kosten entstehen in erster Linie durch einen erhöhten Zeitaufwand für ihre Fahrten, denn durch ein zusätzliches Fahrzeug sinkt die Durchschnittsgeschwindigkeit der bereits auf der Straße befindlichen Kraftfahrzeuge. Die privaten Kosten einer Fahrt (eigene Zeit- und Betriebskosten) stimmen nicht mit den sozialen Kosten (private zzgl. externe Kosten) überein. Es kommt aus volkswirtschaftlicher Sicht zu einer zu starken Nutzung der Straßen, was zu Wohlfahrtsverlusten für die Gesellschaft führt. Durch eine optimale Abgabe,

¹ Erste Vorschläge zum Einsatz von Abgaben zur Internalisierung von externen Stauwirkungen fanden sich schon bei PIGOU (1920) und KNIGHT (1924). Anfang der 60er Jahre wurde die Idee von Ökonomen wieder verstärkt aufgegriffen (z.B. WALTERS (1961)) und erste konkrete Vorschläge zur Einführung von Road Pricing-Systemen gemacht (vgl. z.B. MINISTRY OF TRANSPORT (1964) - der sog. SMEED-Report).

deren Betrag gerade den durch einen Nutzer verursachten externen Kosten bei der optimalen Zahl von gleichzeitigen Fahrten entspricht, werden diese externen Kosten internalisiert. Eine solche Abgabe, die für alle Nutzer die privaten Kosten einer Fahrt den sozialen angleicht, führt zu einer Reduktion der Anzahl der Fahrten auf ein wohlfahrtsoptimales Niveau und somit auch zu einer Verringerung der Fahrzeiten der auf der Straße verbliebenen Nutzer.²

Die Technik für eine elektronische Erhebung von Straßenbenutzungsabgaben, die als Voraussetzung für eine effiziente und effektive Erhebung solcher Abgaben erscheint, steht bereits heute weitgehend zur Verfügung. Probleme bestehen besonders noch bei der Kontrolle der korrekten Nutzung der Systeme, d.h. bei der Erfassung und Verfolgung von Nicht- oder Falschzahlern.³ Die noch vorhandenen technischen Probleme dürften allerdings in absehbarer Zeit im Zuge der Weiterentwicklung der Systeme und mit steigender Zahl von Feldversuchen und Pilotprojekten gelöst werden. Da auch die Effizienz von Straßenbenutzungsabgaben unter Ökonomen kaum umstritten ist, bleibt als ein entscheidendes Hindernis für die zukünftige Implementierung von Road Pricing-Systemen in Städten die mangelnde Akzeptanz für solche Systemen bei weiten Teilen der Bevölkerung. So zeigen europaweite Akzeptanzstudien⁴, daß zwar bei der betroffenen Bevölkerung ein starkes Bewußtsein für alle mit dem Straßenverkehr in Städten zusammenhängenden Probleme (Stau, Umweltbelastung, etc.) vorhanden ist und dieses in den letzten Jahren auch gestiegen ist. Wird allerdings nach der Akzeptanz für verschiedene Maßnahmen zur Verringerung der Probleme gefragt, so zeigt sich, daß Maßnahmen zur Verbesserung des öffentlichen Verkehr und sogar alle restriktiven Maßnahmen (Zufahrtsbeschränkungen für die Innenstadt, Parkraumbewirtschaftung, etc.) deutlich gegenüber allen preislichen Maßnahmen vorgezogen werden. Die geringsten Akzeptanzwerte erhalten dabei durchweg alle Formen des Road Pricings.

Die Analyse der Ursachen für diese ablehnende Haltung gegenüber Road Pricing führt schnell zu zwei Aspekten, die eine besonders große Rolle spielen:

- *Gerechtigkeit*: Ein häufig vorgebrachtes Argument gegen die Einführung von Straßenbenutzungsabgaben ist die These, daß Road Pricing unsozial sei, weil dadurch die sozial Schwachen vom Autofahren ausgeschlossen würden, oder weil ein Road Pricing-System

² Vgl. zur Theorie des Road Pricings u.a. MORRISSON (1986) und HAU (1992).

³ Vgl. TÜV RHEINLAND (1995).

⁴ Vgl. BARTLEY (1995).

zumindest regressive Wirkungen hätte (d.h., die reicheren Haushalte *relativ* weniger stark belaste als die ärmeren).

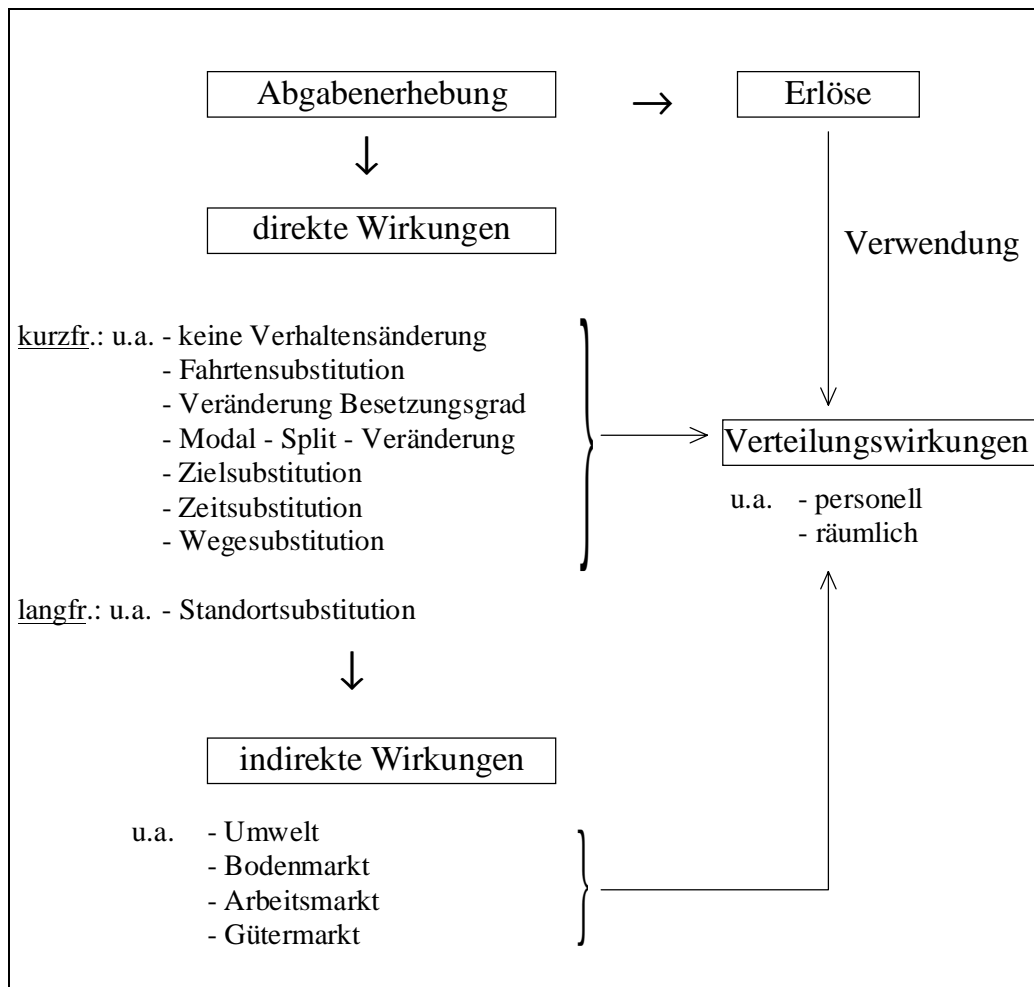
- *Verwendung der Einnahmen:* Viele Autofahrer fürchten, daß Straßenbenutzungsabgaben nur eine zusätzliche Einnahmequelle für den Staat seien und die Einnahmen im allgemeinen Staatshaushalt „versickern“, ohne den Autofahrern, die über andere verkehrsbezogene Steuern ohnehin schon genug belastet würden, zugute zu kommen.

Diese beiden Punkte, die, wie sich zeigen wird, eng miteinander zusammenhängen, sollen im folgenden anhand einer empirischen Untersuchung genauer analysiert werden. Dazu wird in Abschnitt 2 zunächst ein grober Überblick über die verschiedenen Wirkungen von Road Pricing auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer gegeben und der Analysegegenstand für die folgende empirische Untersuchung abgegrenzt. In Abschnitt 3 erfolgt zunächst eine kurze Darstellung der theoretischen Grundlagen der Modelle diskreter Entscheidungen (Discrete Choice Modelle). Daran anschließend werden die Ergebnisse der ökonometrischen Schätzung eines solchen Modells zur Verkehrsmittelwahl von Berufspendlern vorgestellt. Auf diesem geschätzten Modell aufbauend erfolgt dann die Berechnung der Wohlfahrts- und Verteilungswirkungen einer Abgabe für verschiedene Gruppen von Berufspendlern.

2. ANALYSEGEGENSTAND UND THEORETISCHE VORÜBERLEGUNGEN

Die Einführung von Road Pricing wirkt vielfältig auf das Verhalten der betroffenen Verkehrsteilnehmer. Die Verhaltensänderungen reichen dabei von einer Fahrtensubstitution (mehr oder weniger Fahrten) und Veränderungen beim Modal-Split (Wahl eines anderen Verkehrsmittels) über eine Ziel-, Zeit- und Wegesubstitution (Fahrt zu anderen Zielen, zu anderen Zeiten, auf anderen Wegen) bis hin zu Standortveränderungen (Wohnort, Arbeitsplatz) und sogar Rückwirkungen auf andere Märkte (z.B. Immobilien- und Arbeitsmarkt). Alle diese Reaktionen haben Folgen für die Wohlfahrt der Betroffenen und der Gesellschaft als ganzes, sowie für die Verteilung dieser zwischen den einzelnen Wirtschaftssubjekten. Abbildung 1 faßt die unterschiedlichen Wirkungen noch einmal zusammen.

Abbildung 1: *Verteilungswirkungen von Straßenbenutzungsabgaben*



Es wird deutlich, daß eine vollständige empirische Analyse der Verteilungswirkungen von Road Pricing kaum möglich ist. Eine Einschränkung des Untersuchungsgegenstandes ist daher notwendig. Die hier vorgestellte Untersuchung beschränkt sich auf die Analyse der Wirkungen von Straßenbenutzungsabgaben auf eine bestimmte Gruppe von Verkehrsteilnehmern: auf die *Berufspendler*. Für die empirische Analyse der Auswirkungen von Road Pricing gerade auf diese Gruppe spricht - neben einer recht guten Verfügbarkeit von Daten - zweierlei: zum einen tragen die Berufspendler in einem nicht unerheblichen Maße zu den überfüllten städtischen Straßen während der Verkehrsspitzenzeiten bei. Zum anderen hat diese Gruppe - zumindest kurzfristig - nur sehr wenige Möglichkeiten, ihr Verhalten nach der Einführung der Abgabe zu verändern. Sieht man von der Möglichkeit einer zeitlichen Veränderung der Fahrt (z.B. wegen gleitender Arbeitszeit) ab und geht man von der Bepreisung eines ganzen Stadtgebietes aus, so daß dem Ausweichen auf andere, unbepreiste Strecken enge Grenzen gesetzt sind, bestehen die Reaktionsmöglichkeiten der Pendler kurzfristig nur darin, die Abgabe zu zahlen und das Verhalten nicht zu verändern oder ein anderes Verkehrsmittel für die Fahrt zur Arbeit zu wählen. Damit reduzieren

sich die Effekte, die bei einer Analyse der Verteilungswirkungen berücksichtigt werden müssen, auf folgende:

- Erhöhung der Kosten einer Autofahrt durch die Abgabe,
- Zeitgewinne durch die Verringerung der Fahrzeit aufgrund des reduzierten Straßenverkehrs,
- Wohlfahrtsverluste aufgrund von erzwungenen Verhaltensänderungen (hier: Wahl eines anderen Verkehrsmittels),
- = Verwendung der Abgabenerlöse.

Selbst bei der Beschränkung der Untersuchung auf die Gruppe der Berufspendler und nur einige der möglichen Wirkungen ist aus theoretischen Vorüberlegungen nicht von vorneherein völlig klar, welche Verteilungswirkungen sich einstellen werden. Geht man von einer Bepreisung des gesamten Stadtgebietes aus und betrachtet nur die Berufspendler, so werden drei Gruppen von der Einführung von Straßenbenutzungsabgaben profitieren:⁵

1. Verkehrsteilnehmer, die vor und nach der Abgabenerhebung mit dem Auto fahren und die der eingesparten Zeit einen hohen Wert beimessen. Für diese Gruppe ist der Wert der eingesparten Zeit größer als die zu zahlende Abgabe.
2. Nutzer des ÖPNV (insbesondere Busnutzer) und Fahrgemeinschaften, da diese in den Genuß von Zeitgewinnen kommen, aber gar nicht oder nur in einem geringen Maße durch die Abgabe belastet werden.
3. Empfänger der Erlöse aus der Abgabenerhebung.

Zwei Gruppen werden verlieren:

4. Verkehrsteilnehmer, die vor und nach der Abgabenerhebung mit dem Auto fahren und der eingesparten Zeit einen geringen Wert beimessen. Für diese Gruppe ist der Wert der eingesparten Zeit kleiner als die zu zahlende Abgabe, aber trotzdem ist ihr Nutzen, den sie aus dem Befahren dieser Straße ziehen, noch größer als der bei einer Änderung des Verhaltens.

⁵ Vgl. GOMEZ-IBANEZ (1992), S. 347.

5. Autofahrer, die nach der Einführung von Road Pricing auf den ÖPNV oder Fahrgemeinschaften umsteigen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß es unter Umständen möglich ist, daß diese Gruppe durch die höhere Geschwindigkeit des ÖPNV (aufgrund von Road Pricing) für die Unbequemlichkeit des Umsteigens überkompensiert wird.

Keine dieser Gruppen ist von vornherein grundsätzlich arm oder reich, so daß die Gesamtverteilungswirkungen von der relativen Größe und Zusammensetzung der Gruppen sowie der absoluten Höhe der Gewinne und Verluste abhängen werden. So haben die Verkehrsteilnehmer in Gruppe 1 sicher eher ein hohes Einkommen, während die ÖPNV-Nutzer tendenziell eher ein niedrigeres Einkommen beziehen. Eine entscheidende Bedeutung kommt dabei natürlich auch der Verwendung der Einnahmen aus der Abgabenerhebung zu, mit der die Verteilungswirkungen letztlich sehr stark zu beeinflussen sind.

3. EMPIRISCHE ANALYSE

Die empirische Analyse geht nun derart vor, daß in einem ersten Schritt die Nachfragefunktionen nach den verschiedenen Verkehrsmitteln, zwischen denen die Pendler für die Fahrt zur Arbeit wählen können, ökonometrisch geschätzt werden. In einem zweiten Schritt werden dann verschiedene Szenarien über die Höhe der erhobenen Abgaben und der daraus resultierenden Fahrzeitveränderungen entworfen und deren Auswirkungen auf die Wohlfahrt verschiedener Gruppen von Pendlern mit Hilfe der HICKSschen Wohlfahrtsmaße berechnet. Allerdings lassen sich die Nachfragefunktionen nach den verschiedenen Verkehrsmitteln für die Fahrt zur Arbeit nicht mit den Methoden der herkömmlichen neoklassischen Haushaltstheorie ableiten. Während die Standardtheorie von beliebig teilbaren Gütern, also von stetigen Entscheidungen ausgeht, handelt es sich bei der Verkehrsmittelwahl um eine diskrete Entscheidung. Zur Schätzung der Nachfragefunktionen müssen daher Modelle diskreter Entscheidungen angewendet werden.⁶

3.1 Modelle diskreter Entscheidungen - Ableitung des Logitmodells

Jeder Pendler n kann für die Fahrt zur Arbeit zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln wählen. A_n bezeichnet dabei die Menge der Alternativen, zwischen denen sich der Pendler entscheiden kann.

⁶ Zu Modellen diskreter Entscheidungen vgl. ausführlich Maier/Weiss (1990) und Ben-Akiva/Lerman (1985).

Der Nutzen W , den jede Alternative ihm stiftet, ist dann eine Funktion der Eigenschaften der Alternative selbst und der Eigenschaften des Individuums:

$$(1) \quad W_{in} = W(z_{in}, s_n) \quad \forall i \in A_n,$$

mit $z_{in} =$ Vektor mit Eigenschaften der Alternative i (Fahrzeit, Kosten,...) für Individuum n ,
 $s_n =$ Vektor mit Eigenschaften des Individuums n .

Der Pendler wählt gemäß dem Nutzenmaximierungskalkül die Alternative i genau dann, wenn der Nutzen der gewählten Alternative für ihn größer ist als der aller anderen möglichen Alternativen, wenn also gilt:

$$(2) \quad W_{in} > W_{jn} \quad \forall i \in A_n, i \neq j.$$

Während die herkömmliche Konsumtheorie von beliebig teilbaren Gütern ausgeht und mit Hilfe des Marginalkalküls Optimalitätsbedingungen und Nachfragefunktionen abgeleitet werden können, ist diese Vorgehensweise bei diskreten Gütern nicht möglich. Einen Ausweg bietet die Zufallsnutzentheorie. In dieser Theorie wird zwar weiterhin davon ausgegangen, daß das Individuum die Alternative wählt, die ihm den höchsten Nutzen stiftet. Allerdings wird der Nutzen W_{in} , den das Individuum n der i -ten Alternative zuweist, jetzt als Zufallsvariable aufgefaßt, da nicht alle Eigenschaften der Alternative und/oder des Individuums bekannt sind bzw. vom Analytiker beobachtet werden können.⁷

Der Nutzen W_{in} läßt sich daher in einen deterministischen und einen stochastischen Teil aufspalten:

$$(3) \quad W_{in} = \underbrace{V(z_{in}^*, s_n^*)}_{\text{deterministische Nutzenkomponente}} + \underbrace{\varepsilon_{in}}_{\text{stochastische Nutzenkomponente}} \quad \forall i \in A_n,$$

mit $z_{in}^* =$ Vektor mit *beobachtbaren* Eigenschaften der Alternative i (Fahrzeit, Kosten,...) für Individuum n ,
 $s_n^* =$ Vektor mit *beobachtbaren* Eigenschaften des Individuums n .

⁷ Vgl. BEN-AKIVA/LERMAN (1985), S. 55ff.

Da W_{in} eine Zufallsvariable ist, können jetzt Aussagen über die Wahrscheinlichkeit getroffen werden, daß der Pendler n die Alternative i wählt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß die Alternative i gewählt wird (P_{in}), ist gleich der Wahrscheinlichkeit dafür, daß Alternative i für den Pendler den höchsten (Zufalls-)Nutzen aller Alternativen aufweist:

$$(4) \quad P_{in} = \text{Pr ob} \left(W_{in} \geq W_{jn}, i \in A_n, i \neq j \right).$$

Setzt man (3) für W_{in} ein, so ergibt sich:

$$(5) \quad \begin{aligned} P_{in} &= \text{Pr ob} \left(V_{in} + \varepsilon_{in} \geq V_{jn} + \varepsilon_{jn}, i \in A_n, i \neq j \right) \\ &= \text{Pr ob} \left(V_{in} - V_{jn} \geq \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}, i \in A_n, i \neq j \right). \end{aligned}$$

Wenn die Wahrscheinlichkeitsverteilung von W bzw. der Störterme ε bekannt ist, oder wenn ihre Parameter unter vernünftigen Annahmen geschätzt werden können, so können die Auswahlwahrscheinlichkeiten berechnet werden. In dieser Untersuchung wird nun unterstellt, daß die Störterme unabhängig und identisch GUMBEL-verteilt sind. Ferner wird die Alternativenmenge, aus der der Pendler wählen kann, auf die Verkehrsmittel „Auto“ (A) und „ÖPNV“ (ÖV) beschränkt.

Es ergibt sich ein binäres Logitmodell, in dem die Wahrscheinlichkeit P_{in} , daß der Pendler n das Verkehrsmittel i wählt, gegeben ist als:⁸

$$(6) \quad P_{in} = \frac{\exp \mu V_{in}}{\sum_{j=1}^2 \exp \mu V_{jn}} \quad \text{mit } i \in \{A, \text{ÖV}\}.$$

Dabei ist μ ein Skalierungsparameter der GUMBEL-Verteilung.

3.2 Funktionale Form des deterministischen Teils der Nutzenfunktion

Einem Ansatz von TRAIN und MCFADDEN (1978) folgend⁹, wird die funktionale Form des deterministischen Teils der Nutzenfunktion aus dem mikroökonomischen Entscheidungskalkül des Pendlers¹⁰ abgeleitet. Jeder Pendler hat zwei Entscheidungen zu treffen:

⁸ Vgl. zur Ableitung des binären Logitmodells BEN-AKIVA/LERMAN (1985), S. 59ff.

⁹ Vgl. zu den folgenden Ausführungen auch JARA-DIAZ/FARAH (1987).

¹⁰ Im folgenden wird auf den Index n verzichtet.

- Wahl des Verkehrsmittels i für die Fahrt zur Arbeit,
- Wahl der Anzahl der Arbeitsstunden und des Konsumplans, wenn er mit einem bestimmten Verkehrsmittel i zur Arbeit fährt.

Die Gesamtentscheidung des Pendlers stellt sich dann als zweistufiges Maximierungsproblem dar. Es wird angenommen, daß jeder Pendler in einem ersten Schritt eine direkte Nutzenfunktion, die von den konsumierten Mengen an Freizeit und Sonstigen Gütern abhängt, für jedes Verkehrsmittel i unter einer Einkommens- und einer Zeitbudgetrestriktion bezüglich seiner Arbeitszeit maximiert. Daraus ergibt sich der bei Wahl des Verkehrsmittels i maximal erreichbare Nutzen:

$$(7) \quad V(t_i, c_i) = \max_L \{U(X, F) \mid X + c_i = w \cdot L \quad \wedge \quad T = F + L + t_i\},$$

mit:

X	= Sonstige Güter (Preis auf eins normiert),
F	= Freizeit in Stunden,
c_i	= Transportkosten für Verkehrsmittel i ,
w	= Nettolohnsatz,
L	= Arbeitszeit in Stunden,
t_i	= Fahrzeit für Verkehrsmittel i ,
T	= Gesamtzeit.

$V(t_i, c_i)$ heißt bedingte indirekte Nutzenfunktion.

In einem zweiten Schritt wählt der Pendler dann das Verkehrsmittel, das ihm den höchsten bedingten indirekten Nutzen stiftet.

Für eine empirische Spezifikation dieses Ansatzes ist nun eine Annahme über die funktionale Form der direkten Nutzenfunktion nötig. Es wird im folgenden eine *COBB-DOUGLAS-Nutzenfunktion* unterstellt. Allerdings wird der oben skizzierte Ansatz noch etwas erweitert. Es wird unterstellt, daß die für die Fahrt zur Arbeit benötigte Zeit t_i für den Pendler einen „Freizeitwert“ besitzt und nicht allein als entgangene Arbeitszeit angesehen wird. Dieser Sachverhalt wird dadurch in das Modell integriert, daß der Pendler eine direkte Nutzenfunktion maximiert, die von den konsumierten Mengen an Sonstigen Gütern X und an „effektiver“ Freizeit \tilde{F} abhängt.¹¹ Die effektive Freizeit \tilde{F} kann dargestellt werden als:

¹¹ Vgl. zu diesem Ansatz SMALL (1992a), S. 40 und TRAIN/MACFADDEN (1978).

$$(8) \quad \tilde{F} = F + \alpha \cdot t_i \quad .^{12}$$

Der Parameter α mißt dabei den „Freizeitwert“ einer Zeiteinheit, die für die Fahrt zur Arbeit aufgewendet wird. Ist $\alpha=1$, wird die Fahrzeit als Freizeit betrachtet, ist $\alpha=0$, hat die Fahrzeit keinerlei Freizeitwert.

Unter Beachtung von (8) lautet die bedingte indirekte Nutzenfunktion:

$$(9) \quad V(t_i, c_i) = \max_L \left\{ U(X, \tilde{F}) = X^a \cdot \tilde{F}^{1-a} \mid X + c_i = w \cdot L \wedge T = \tilde{F} + L + (1-\alpha) \cdot t_i \right\}.$$

Dabei sind die Exponenten a und $1-a$ die Ausgabenanteile des Haushalts für Freizeit bzw. Sonstige Güter. Der Preis der Sonstigen Güter ist wiederum auf 1 normiert. Die Anzahl der gewünschten Arbeitsstunden des Pendlers im Nutzenmaximum ergibt sich als:

$$(10) \quad L = (1-a) \cdot T - (1-a) \cdot (1-\alpha) \cdot t_i + \frac{a}{w} \cdot c_i.$$

Nach dem Einsetzen von (10) in die direkte COBB-DOUGLAS-Nutzenfunktion erhält man folgende bedingte indirekte Nutzenfunktion:

$$(11) \quad V(t_i, c_i) = -(1-\alpha) \cdot w^{1-a} \cdot t_i - w^{-a} \cdot c_i \quad \text{mit } 0 \leq a \leq 1.$$

Für die ökonometrische Schätzung des Logitmodells ist es notwendig, noch einige zusätzliche Annahmen zu treffen. So wird anstelle des nicht bekannten individuellen Nettolohnsatzes w das Nettoeinkommen I verwendet. Dies kann deshalb geschehen, da in diesem Modell die gewünschte Arbeitszeit L bei einer COBB-DOUGLAS-Nutzenfunktion fast unabhängig vom Nettolohnsatz ist (vgl. Gleichung (10)) und weitgehend nur von den Ausgabenanteilen a bzw. $1-a$ für Freizeit und Sonstige Güter abhängt. Das Nettoeinkommen ist damit weitgehend proportional zum Nettolohnsatz. Die bedingte indirekte Nutzenfunktion lautet dann:

$$(12) \quad V(t_i, c_i) = -(1-\alpha) \cdot \left(\frac{I}{L}\right)^{1-a} \cdot t_i - \left(\frac{I}{L}\right)^{-a} \cdot c_i,$$

¹² Es wird vereinfachend angenommen, daß α für alle Verkehrsmittel gleich ist.

oder

$$(13) \quad V(t_i, c_i) = -(1 - \alpha) \cdot L^{a-1} \cdot I^{1-a} \cdot t_i - L^a \cdot I^{-a} \cdot c_i.$$

Das Einkommen wird in dieser Modellierung also lediglich als eine Einflußgröße auf die Entscheidung des Haushaltes über die Arbeitszeit betrachtet. Es ist aber auch denkbar, daß verschiedene Einkommensgruppen verschiedene Präferenzen haben. Dieser Aspekt wird in dieser Untersuchung aber vernachlässigt.

Neben den generischen Variablen Fahrzeit und Fahrkosten, die über die beiden Alternativen variieren, wurden noch weitere Variablen in die Schätzgleichung aufgenommen. So wurde eine *alternativenspezifische Konstante* für das Auto (D_3) hinzugenommen, die die Differenz der Nutzen der einzelnen Verkehrsmittel widerspiegelt, wenn alle anderen Eigenschaften identisch sind. Ferner wurden vier *alternativenspezifische Variablen* für das Auto berücksichtigt. Diese sind

- das Geschlecht (m/w) (D_4),
- die PKW-Verfügbarkeit (Anzahl PKW pro Person über 18) (D_5),
- eine Dummyvariable für den Fall, daß das Alter der Person zwischen 30 und 50 liegt (D_6),
- eine Dummyvariable für den Fall, daß der Arbeitsort im Zentrum von Dresden liegt (D_7).

Unter Beachtung von (6), (13) und den zusätzlich aufgenommenen Variablen ergibt sich für Pendler n die Wahrscheinlichkeit, das Verkehrsmittel i zu wählen, dann als:

$$(14) \quad P_{in} = \frac{\exp\left(\beta_1 \cdot I_n^{1-a} \cdot t_{in} + \beta_2 \cdot I_n^{-a} \cdot c_{in} + \sum_{k=3}^7 \beta_k \cdot D_{kin}\right)}{\sum_{j=1}^2 \exp\left(\beta_1 \cdot I_n^{1-a} \cdot t_{jn} + \beta_2 \cdot I_n^{-a} \cdot c_{jn} + \sum_{k=3}^7 \beta_k \cdot D_{kjin}\right)},$$

mit $i \in \{A, \text{ÖV}\}$, $\beta_1 = -\mu \cdot (1 - \alpha) \cdot L^{a-1}$ und $\beta_2 = -\mu \cdot L^a$.

3.3 Die Datengrundlage

Die Grundlage für die ökonomische Schätzung des Modells (14) bilden Daten, die im Rahmen der Kommunalen Bürgerumfrage 1993 (KBU93) vom Amt für Informationsverarbeitung, Statistik und Wahlen der Stadt Dresden im Juni 1993 erhoben worden sind. Die KBU93 wurde als schriftliche Personenbefragung durchgeführt, bei der insgesamt eine repräsentative Stichprobe von 8000 Dresdner Bürgern ab 16 Jahren befragt wurden. Der Rücklauf betrug 3460 Fragebögen.¹³

Für die vorliegende Analyse wurden neben den sozioökonomischen Angaben die Antworten auf die Fragen zu einem typischen Arbeitsweg der Befragten ausgewertet. Berücksichtigt wurden nur Datensätze, die vollständige und konsistente Angaben zum Arbeitsweg und einigen ausgewählten sozioökonomischen Größen (Einkommensklasse, Geschlecht, Wohnortstadtteil) enthielten. Ferner wurde die Analyse auf Arbeitswege innerhalb Dresdens und auf solche Personen beschränkt, die mindestens einen PKW zur ständigen Verfügung hatten. So verblieben letztlich für die Auswertung 920 vollständige Datensätze. Tabelle 1 gibt einen Überblick über den verwendeten Datensatz.

Tabelle 1: *Eigenschaften des untersuchten Datensatzes*

Einkommensgruppe (HH-Nettoeinkommen in DM/Monat)	durchschnittl. HH- Nettoeinkommen (DM/Monat)	Anzahl der Personen in Stichprobe	Auto	ÖPNV	verfügbare PKW
alle	3868	920	64%	36%	1,3
1: unter 2000	1402	89	71%	29%	1,1
2: 2000-3000	2562	178	60%	40%	1,1
3: 3000-4000	3480	257	63%	37%	1,2
4: 4000-6000	4784	324	64%	36%	1,4
5: über 6000	7839	72	72%	28%	1,7

Die für die Schätzung des Logitmodells notwendigen Angaben über die Fahrkosten und Fahrzeiten für Auto und ÖPNV wurden mit Hilfe von Fahrzeit- und Entfernungsmatrizen, die aus dem Verkehrsumlegungsmodellen VISUM-IV bzw. VISUM-ÖV für das Dresdener Verkehrsnetz stammen, generiert. Dabei wurden als Fahrkosten für das Auto ein Wert von 0,20 DM/km und für den ÖPNV ein Wert von 0,43 DM/Fahrt¹⁴ angenommen. Die durchschnittliche Länge des

¹³ Eine genaue Beschreibung der KBU93 ist zu finden in Landeshauptstadt Dresden (1994).

¹⁴ Diese Werte ergeben sich zum einen als durchschnittliche variable Betriebskosten eines Mittelklassewagens (vgl. ADAC (1993)), zum anderen aus dem Preis einer Monatskarte der Dresdner Verkehrsbetriebe 1993 geteilt durch 70 Fahrten im Monat.

Arbeitsweges und die durchschnittlichen Fahrzeiten für die verschiedenen Einkommensgruppen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: *Durchschnittliche Länge des Arbeitsweges und durchschnittliche Fahrzeit für die Fahrt zur Arbeit für verschiedene Einkommensgruppen in Abhängigkeit vom gewählten Verkehrsmittel*

Einkommens- gruppe	Wahl Auto		Wahl ÖPNV	
	durchschn. Länge Arbeitsweg (km)	durchschn. Fahr- zeit (Minuten)	durchschn. Länge Arbeitsweg (km)	durchschn. Fahr- zeit (Minuten)
alle	8,4	16,6	8,1	34,6
1	8,5	16,7	9,2	37,6
2	8,9	17,9	7,9	34,1
3	8,1	16,1	8,8	35,9
4	8,3	16,2	7,8	33,6
5	8,5	17,0	6,6	29,9

3.4 Ergebnisse der Schätzung des Logitmodells

Die ökonometrische Schätzung des binären Logitmodells (14) erfolgte mit der Maximum-Likelihood-Methode.¹⁵ Dabei wurden Schätzungen für verschiedene Werte von α , d.h., für verschiedene Ausgabenanteile für Sonstige Güter und Freizeit, durchgeführt. In Tabelle 3 werden allerdings nur die Ergebnisse der Schätzung für den Wert $\alpha=0.5$ wiedergegeben, da sich die Wohlfahrtsberechnungen auf Grundlage von Modellen mit unterschiedlichen Werten von α nur unwesentlich unterscheiden. Die vollständigen Schätzergebnisse für weitere Werte von α sind in Tabelle 9 im Anhang zu finden.

Die Koeffizienten der generischen Variablen Fahrzeit und Fahrkosten haben die erwarteten Vorzeichen. Eine Erhöhung der Fahrkosten bzw. der Fahrzeit für das Auto führt zu einer Verringerung der Wahrscheinlichkeit, daß das Auto gewählt wird. Auch die Vorzeichen der alternativenspezifischen Variablen können nicht überraschen. So haben die PKW-Verfügbarkeit und die Tatsachen, männlichen Geschlechts bzw. zwischen 30 und 50 Jahre alt zu sein, einen positiven Einfluß auf die Wahrscheinlichkeit, das Auto zu wählen, während ein Arbeitsort, der im Zentrum liegt, die Wahrscheinlichkeit, den ÖPNV zu wählen, erhöht. Abgesehen von den

¹⁵ Vgl. zur ökonometrischen Schätzung eines binären Logitmodells mit der Maximum-Likelihood-Methode BEN-AKIVA/LERMAN (1985), S. 79 ff.

Koeffizienten der Fahrkostenvariablen sind alle Koeffizienten auf einem Signifikanzniveau von 95% signifikant von Null verschieden.

Tabelle 3: Schätzergebnisse des binären Logitmodell für $a = 0.5$

Variable	Parameter (t-Wert)
Konstante (Auto)	-2,43 (-7,21)
Fahrzeit * (Einkommen) ^{1-a} (Auto, ÖPNV) (β_1)	-0,0004 (-2,24)
Fahrkosten * (Einkommen) ^{-a} (Auto, ÖPNV) (β_2)	-8,58 (-1,45)
Geschlecht = 1, wenn männlich (Auto)	1,83 (11,15)
PKW-Verfügbarkeit (Auto)	2,91 (8,39)
Dummy = 1, wenn Alter zwischen 30 und 50 Jahren (Auto)	0,35 (2,16)
Dummy = 1, wenn Arbeitsort sich im Stadtzentrum befindet (Auto)	-0,41 (2,57)
Anzahl der untersuchten Fälle	920
Log Likelihood:	
Modell ohne Variablen L(0)	-637,70
Konstantenmodell L(c)	-601,60
endgültiger Wert L(β)	-485,29
Likelihood-Ratio-Test	
-2 [L(0)-L(β)]	304,82
Likelihood-Ratio-Index ρ^2 (mit L(0))	0,24
korrigierter Likelihood-Ratio-Index $\bar{\rho}^2$ (mit L(0))	0,23

Die Schätzergebnisse für die Koeffizienten β_1 und β_2 lassen noch einige weitere interessante Schlußfolgerungen zu. Zum einen läßt sich der Parameter α , der den „Freizeitwert“ einer Zeiteinheit der Fahrt zur Arbeit mißt, ermitteln. Für das Verhältnis der in Gleichung (14) definierten Koeffizienten β_1 (Einheit: Nutzeneinheiten pro Minute) und β_2 (Einheit: Nutzeneinheiten pro DM) gilt:

$$(15) \quad \frac{\beta_1}{\beta_2} = (1 - \alpha) \cdot L^{-1}.$$

Daraus folgt sofort:

$$(16) \quad \alpha = 1 - L \cdot \frac{\beta_1}{\beta_2}.$$

Unter der Annahme, daß der Freizeitwert einer Zeiteinheit der Fahrt zur Arbeit gleich Null ist ($\alpha=0$), ergäbe sich eine monatliche Arbeitszeit von knapp 358 Stunden. Da dies als monatliche Arbeitszeit für einen Haushalt zu hoch liegt, folgt daraus, daß α positiv ist, also die Fahrzeit einen Freizeitwert für den Pendler haben muß. Unterstellt man nun z.B., daß die durchschnittliche Arbeitszeit eines Haushalts ca. 240 Stunden im Monat beträgt (entspricht ca. 1,5 vollzeitbeschäftigten Personen pro Haushalt), errechnet sich ein α von ca. 0,33. Dies bedeutet, daß dann ein Pendler eine Stunde Fahrt zur Arbeit wie ca. 20 Minuten Freizeit bewertet.

Ferner läßt sich mit den Koeffizienten β_1 und β_2 auch die Bewertung einer (eingesparten) Stunde Fahrzeit (= Wert der Zeit, ZW) berechnen. Der Wert der Zeit ergibt sich gerade als die Grenzrate der Substitution von Fahrzeit durch Fahrkosten. Es gilt also:

$$(17) \quad ZW = \frac{\frac{\partial V}{\partial t_i}}{\frac{\partial V}{\partial c_i}} = \frac{(-\beta_1 \cdot I^{1-a})}{(-\beta_2 \cdot I^{-a})} = \frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot I .$$

Daraus errechnet sich z.B. bei einem Haushaltsnettoeinkommen von DM 1000,-- ein Wert der Zeit von 2,72 DM/Stunde, bei einem Einkommen von DM 5.000,-- ein Wert von 13,89 DM/Stunde und bei einem Einkommen von DM 10.000,-- ein Wert von 27,78 DM/Stunde.

Nach erfolgter Parameterschätzung kann eine Berechnung der *Elastizitäten* der Verkehrsmittelwahl bezüglich der Fahrkosten und -zeiten erfolgen.¹⁶ Die Ergebnisse für die Daten aus dem Modell mit $a=0.5$ sind in Tabelle 4 zu finden.

Tabelle 4: *Elastizitäten der Verkehrsmittelwahl*

		PKW	ÖPNV
Kosten	PKW	-0,068	0,018
	ÖPNV	0,12	-0,032
Zeit	PKW	-0,11	0,23
	ÖPNV	0,21	-0,42

¹⁶ Vgl. zur Berechnung von Elastizitäten in einem Logitmodell BEN-AKIVA/LERMAN (1985), S. 111-113.

3.5 Wohlfahrtsberechnungen im Logitmodell

Zur Berechnung der Wohlfahrtsveränderungen aufgrund von Preis- und/oder Qualitätsveränderungen der Verkehrsmittel ist es notwendig, die üblichen mikroökonomischen Wohlfahrtsmaße (Consumer-Surplus, Äquivalente und Kompensatorische Variation)¹⁷ auf die Modelle diskreter Entscheidungen zu übertragen.¹⁸ An die Stelle der normalen oder kompensierten Nachfragefunktionen in der Standardtheorie treten bei den Modellen diskreter Entscheidungen die Auswahlwahrscheinlichkeiten P_{in} .

Für die geldmetrische Berechnung der Wohlfahrtsveränderungen ist es zunächst erforderlich, die Auswahlwahrscheinlichkeit P_{in} aus (14) wie folgt umzuformen:

$$(18) \quad P_{in} = \frac{\exp\left[-\gamma \cdot \left(-\frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot I_n \cdot t_{in} - c_{in} - \sum_{k=3}^7 \frac{\beta_k}{\gamma} \cdot D_{kin}\right)\right]}{\sum_{j=1}^2 \exp\left[-\gamma \cdot \left(-\frac{\beta_1}{\beta_2} \cdot I_n \cdot t_{jn} - c_{jn} - \sum_{k=3}^7 \frac{\beta_k}{\gamma} \cdot D_{kjn}\right)\right]} = \frac{\exp[-\gamma \cdot G_{in}]}{\sum_{j=1}^2 \exp[-\gamma \cdot G_{jn}]}$$

mit $i \in \{A, \text{ÖV}\}$ und $\gamma = \beta_2 \cdot I_n^{-\alpha}$.

Der Term G_{jn} wird dabei in Geldeinheiten gemessen und gibt quasi den Preis - in Form der *Generalisierten Kosten* - für die Benutzung einer Alternative an.

Unterstellt man, daß die Ausgaben für den Verkehr im Vergleich zu den sonstigen Konsumausgaben unbedeutend sind, so daß Einkommenseffekte aufgrund von Preisveränderungen der diskreten Güter zu vernachlässigen sind und daher die normalen und die kompensierten Auswahlwahrscheinlichkeiten identisch sind, fallen die Kompensatorische und die Äquivalente Variation mit dem Consumer Surplus-Maß zusammen. Die Veränderung der Wohlfahrt eines Pendlers n aufgrund einer Preis- und/oder Qualitätsveränderung der Verkehrsmittel ergibt sich dann als das Integral über die Summe der normalen Auswahlwahrscheinlichkeiten für die beiden Verkehrsmittel in den Grenzen der alten und neuen „Preise“:¹⁹

¹⁷ Zur Definition und Anwendung der mikroökonomischen Wohlfahrtsmaße in der Standardtheorie vgl. z.B. VARIAN (1992), S. 160 ff.

¹⁸ Vgl. zur Anwendung der Wohlfahrtsmaße auf Modelle diskreter Entscheidungen die grundlegenden Arbeiten von SMALL UND ROSEN (1981) sowie von HAU (1985).

¹⁹ Vgl. SMALL/ROSEN (1981) und JARA-DIAZ/FARAH (1988).

$$(19) \quad \Delta \text{Wohlfahrt}_n = \int_{G_n^{\text{alt}}}^{G_n^{\text{neu}}} \sum_{i=1}^2 (P_{in}(G_{in}) dG_{in}).$$

Es kann gezeigt werden, daß sich der Ausdruck (19) für ein binäres Logitmodell berechnen läßt als:²⁰

$$(20) \quad \Delta \text{Wohlfahrt}_n = -\frac{1}{\gamma} \cdot \left[\ln \sum_{i=1}^2 \exp[-\gamma \cdot G_{in}^{\text{neu}}] - \ln \sum_{i=1}^2 \exp[-\gamma \cdot G_{in}^{\text{alt}}] \right].$$

Es wurden nun in einem ersten Schritt die gesamten Wohlfahrtsveränderungen pro Fahrt aufgrund der Einführung einer Straßenbenutzungsabgabe für die Pendler aus verschiedenen Einkommensgruppen berechnet. Dazu wurden verschiedene Annahmen über die Höhe der Abgabe²¹ und über die Fahrzeitveränderungen²² aufgrund des reduzierten Verkehrsvolumens für die PKWs und den ÖPNV gemacht. In Tabelle 5 sind die verschiedenen untersuchten Szenarien beschrieben.

Tabelle 5: *Annahmen in den untersuchten Szenarien*

Szenario	Abgabe Auto (in DM/km)	Abgabe ÖPNV	Fahrzeit Auto	Fahrzeit ÖPNV
I	-,20	keine	-10%	unverändert
II	-,20	keine	-20%	unverändert
III	-,20	keine	-10%	-10%
IV	-,10	keine	-10%	unverändert
V	-,40	keine	-10%	unverändert

Untersucht man die Auswirkungen einer Abgabenerhebung auf die Wohlfahrt von verschiedenen Einkommensgruppen ohne die Verwendung der Einnahmen zu betrachten, kommt man für die verschiedenen unterstellten Szenarien zu den in Tabelle 6 dargestellten Ergebnissen.

²⁰ Vgl. SMALL/ROSEN (1981) und JARA-DIAZ/FARAH (1988).

²¹ Die im folgenden angenommene Abgabe pro Kilometer erhebt nicht den Anspruch, wohlfahrtsoptimal im oben beschriebenen Sinne zu sein. Es erscheint aber wahrscheinlich, daß, falls es in der Praxis tatsächlich zu der Einführung einer Straßenbenutzungsabgabe kommt, zunächst eine solche einfache Form der Abgabe erhoben wird. Die Höhe dieser Abgabe orientiert sich an den Werten vergleichbarer Studien (vgl. z.B. ABAY/ZEHNDER (1992)).

²² Für Aussagen über die Fahrzeitveränderungen müßte eigentlich zunächst mit Hilfe von Preiselastizitäten eine Abschätzung der Veränderung des Verkehrsvolumens nach der Abgabenerhebung erfolgen, um dann in einem zweiten Schritt mit Hilfe eines funktionalen Zusammenhangs zwischen Verkehrsvolumen und Durchschnittsgeschwindigkeiten im Stadtgebiet Aussagen über die durchschnittlichen Fahrzeitveränderungen zu erhalten. Da hier dieser funktionale Zusammenhang für das *gesamte Stadtgebiet* benötigt wird und bisher nur sehr wenige Untersuchungen zu einem solchen Zusammenhang vorliegen, wurde auf eine Berechnung verzichtet und mit Hilfe der Szenariotechnik verschiedene Annahmen über die Fahrzeitveränderungen getroffen.

Tabelle 6: *Wohlfahrtsverluste durch die Einführung von Road Pricing für verschiedene Einkommensgruppen und für verschiedenen Annahmen über die Veränderung der Fahrzeit (in DM/pro Fahrt)*

Einkommensgruppe	Szenario				
	I	II	III	IV	V
alle	0,86	0,67	0,62	0,34	1,82
1	1,08	1,01	0,99	0,52	2,08
2	0,89	0,78	0,71	0,40	1,81
3	0,81	0,66	0,56	0,34	1,70
4	0,82	0,59	0,53	0,30	1,81
5	0,81	0,35	0,50	0,17	2,04

Betrachtet man zunächst nur die Ergebnisse, die sich bei Annahme des Szenarios I (Basisszenario) ergeben, wird deutlich, daß die *absoluten* Wohlfahrtsverluste pro Fahrt mit steigendem Einkommen abnehmen, wobei die Verluste für die Gruppen 3-5 ungefähr gleich sind. Um den Einfluß der verschiedenen Determinanten auf die Wohlfahrtsveränderung deutlich zu machen, wurde in einem zweiten Schritt (vgl. Tabelle 7) die Gesamtveränderung der Wohlfahrt in zwei Effekte aufgespalten - in den Wohlfahrtsverlust aufgrund der Abgabenzahlung und in den Wohlfahrtsgewinn aufgrund der reduzierten Fahrzeiten.

Tabelle 7: *Wohlfahrtsveränderungen durch die Einführung von Road Pricing - Aufteilung der gesamten Wohlfahrtsveränderungen auf den Effekt der Abgabenzahlung und auf den Effekt der Zeitersparnis (Szenario I) (in DM/Fahrt)*

Einkommensgruppe	Wohlfahrtsverlust durch die Abgabe	Wohlfahrtsverlust durch den Zeitgewinn	Gesamtwohlfahrtsverlust
alle	1,05	-0,19	0,86
1	1,16	- 0,08	1,08
2	1,03	-0,13	0,90
3	0,97	-0,16	0,81
4	1,06	-0,24	0,82
5	1,27	-0,46	0,81

Es zeigt sich, daß der geringere Gesamtwohlfahrtsverlust der höheren Einkommensgruppen auf den mit steigendem Einkommen zunehmenden Wohlfahrtsgewinn aufgrund der reduzierten Fahrzeiten zurückzuführen ist. Dies wiederum hängt in erster Linie mit dem mit steigendem Einkommen ebenfalls zunehmendem Wert der Zeit zusammen. Wird nur die Wohlfahrtswirkung der Abgabe allein betrachtet, ist die Verteilung der Wohlfahrtsverluste weniger eindeutig. Am

stärksten werden hier besonders die unterste und die oberste Einkommensgruppe belastet. Dies ist in erster Linie auf die besonders starke Nutzung des PKW für die Fahrt zur Arbeit in diesen Gruppen zurückzuführen (vgl. Tabelle 1).

Ein Vergleich der Szenarien I und II verdeutlicht ebenfalls die Rolle, die dem Wohlfahrtsgewinn aufgrund der reduzierten Fahrzeit zukommt. Führt die Abgabe zu einer stärkeren Verringerung der Fahrzeit (20% statt 10%), profitieren aufgrund ihrer höheren Wertschätzung für die eingesparte Zeit besonders die höheren Einkommensgruppen in nicht unerheblichem Umfang. Vergleicht man Szenario I mit dem Szenario III, bei dem neben der Reduktion der Fahrzeiten für die PKWs auch eine Verringerung der Fahrzeiten des ÖPNV um 10% unterstellt wird, zeigt sich, daß die Wohlfahrtsverluste zwar insgesamt geringer ausfallen, die Pendler mit einem höheren Einkommen aber auch davon überdurchschnittlich profitieren. Allerdings muß an dieser Stelle betont werden, daß in dieser Untersuchung nur diejenigen Pendler einbezogen wurden, die einen eigenen PKW besitzen und mit dem PKW oder dem ÖPNV zur Arbeit fahren. Für eine vollständige Analyse müßten eigentlich auch die ÖPNV-Nutzer berücksichtigt werden, die keinen eigenen PKW besitzen und die Pendler, die zu Fuß oder mit dem Fahrrad zur Arbeit gelangen. Unter der plausiblen Annahme, daß diese Pendler verstärkt aus den unteren Einkommensgruppen kommen, würde eine Berücksichtigung dieser Gruppen die o.a. Ergebnisse noch etwas zugunsten der unteren Einkommensgruppen korrigieren.

Schließlich wurden in einem dritten Schritt die mit Hilfe des Logitmodells berechneten Wohlfahrtsveränderungen (U2) mit den entsprechenden Werten verglichen, die sich ergeben, wenn *keine Verhaltensänderung* (hier: keine Modal-Split-Veränderung) der Pendler zugelassen wird (U1).²³ Dabei wurde auch in dieser alternativen Untersuchung die Bewertung der eingesparten Fahrzeit mit der aus dem Logitmodell gewonnenen Zeitbewertung für die einzelnen Einkommensgruppen vorgenommen. Die Ergebnisse in Tabelle 8 machen deutlich, daß die Wohlfahrtsverluste durchweg etwas geringer sind, wenn eine Veränderung des Modal-Splits zugelassen wird. Allerdings liegen für beide untersuchten Szenarien die Werte der Untersuchungen doch recht nahe beieinander. Eine - wesentlich einfachere - Berechnung der Wohlfahrtsveränderungen unter der einschränkenden Annahme, daß es zu keiner Verhaltensänderung kommt, erscheint aus diesem Blickwinkel fast ausreichend, um die Wirkung der Abgabe auf die Berufspendler abschätzen zu können.

²³ Zu Einzelheiten einer solchen Untersuchung vgl. TEUBEL (1997).

Tabelle 8: *Wohlfahrtsverluste durch die Einführung von Road Pricing - Vergleich der Untersuchungen 1 und 2 (in DM/pro Fahrt)*

Einkommensgruppe	Szenario I		Szenario II	
	U1	U2	U1	U2
alle	0,88	0,86	0,69	0,67
1	1,15	1,08	1,06	1,01
2	0,95	0,89	0,82	0,78
3	0,85	0,81	0,69	0,66
4	0,81	0,82	0,58	0,59
5	0,90	0,81	0,38	0,35

3.4 Verwendung der Einnahmen aus Road Pricing

Es wurde schon darauf hingewiesen, daß eine abschließende Aussage über die Verteilungswirkungen nur unter Berücksichtigung der Verwendung der Einnahmen, die Straßenbenutzungsabgaben erbringen, möglich ist. Es läßt sich leicht zeigen, daß ein optimales Congestion Pricing zu einem Wohlfahrtsgewinn für die Gesellschaft als ganzes führt.²⁴ Es kommt zwar nicht zu einer PARETO-Verbesserung im engeren Sinne, aber zu einer *potentiellen* PARETO-Verbesserung im Sinne von KALDOR und HICKS.²⁵ Die Gewinner (auf jeden Fall der Staat als Empfänger der Einnahmen) könnten die Verlierer derart kompensieren, daß sich eine PARETO-Verbesserung nach der Kompensation einstellt. Ob und wie eine solche Kompensation aussehen kann bzw. wie sonst die Einnahmen aus Road Pricing verwendet werden sollten, ist eine Frage, die letztlich die Politiker zu entscheiden haben.

Es existieren aber eine Reihe von Vorschlägen, wie die Einnahmen verwendet werden könnten und sollten, um zum einen die Verteilungswirkungen in die gewünschte Richtung zu beeinflussen und zum anderen damit die gesellschaftliche Akzeptanz für Road Pricing-Systeme zu erhöhen. In der Literatur recht häufig zu finden sind sog. „Drittel“-Vorschläge, d.h. *je ein Drittel* der Nettoeinnahmen (Einnahmen abzgl. der Erhebungskosten) für verschiedene Zwecke zu verwenden. So schlägt z.B. SMALL (1992b) folgende Aufteilung der Nettoeinnahmen vor: je ein Drittel der Einnahmen sollten verwendet werden für

²⁴ Vgl. HAU (1992).

²⁵ Es liegt dann eine PARETO-Verbesserung vor, wenn mindestens ein Wirtschaftssubjekt durch eine Maßnahme besser gestellt wird, ohne das ein anderer schlechter gestellt wird; vgl. zu den Konzepten des PARETO-Kriteriums und der potentiellen PARETO-Verbesserung BOADWAY/BRUCE (1984).

- die Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur (sowohl Ausbau Straßennetz als auch Verbesserung des ÖPNV),
- die Reduzierung allgemeiner Steuern, die bisher zur Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur herangezogen wurden,
- die direkte monetäre Erstattung an die betroffenen Verkehrsteilnehmer als *Gruppe*.

Weitere Vorschläge stammen von JONES (1991) und GOODWIN (1989). Der Letztgenannte schlägt vor, ein Drittel der Einnahmen zur Verbesserung der Straßeninfrastruktur, ein Drittel zur Verbesserung des ÖPNV und das verbleibende Drittel als allgemeine Steuereinnahmen zu verwenden, die dazu dienen könnten, bestehende Steuern zu senken oder bestimmte Sozialleistungen zu erhöhen.

Während die Verteilungswirkungen einer Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur natürlich wiederum schwer zu quantifizieren sein dürften, lassen sich gerade über die Reduzierung von Steuern und in besonderem Maße über die monetäre Erstattung der Einnahmen an die betroffenen Verkehrsteilnehmer die endgültigen Verteilungswirkungen direkt beeinflussen. Die vielfältigen Möglichkeiten der direkten monetären Erstattung der Einnahmen an die Betroffenen als Gruppe²⁶ reichen dabei von einer Senkung der (auto-)verkehrsbezogenen Steuern (KFZ-/ Mineralölsteuer), über Erstattungen, die in Abhängigkeit vom Einkommen erfolgen²⁷, bis hin zu der Rückerstattung eines für alle Betroffenen gleichen Pauschalbetrages. Wie diese Rückverteilung konkret ausgestaltet wird, ist dann natürlich von den konkreten verteilungspolitischen Zielvorstellungen der Entscheidungsträger abhängig.

Legt man die Daten aus dieser Untersuchung zugrunde, ergibt sich unter den Annahmen des Szenarios I eine Bruttoeinnahme von ca. 1,-- DM pro Pendler und Fahrt nach der Einführung von Road Pricing. Vergleicht man diesen Betrag mit den Wohlfahrtsverlusten pro Fahrt (1,08 DM bis 0,81 DM, Durchschnitt 0,86 DM; vgl. Tabelle 5), wird deutlich, daß selbst bei der Erhebung einer zeitlich und räumlich völlig undifferenzierten und nicht wohlfahrtsoptimalen Abgabe in Höhe von

²⁶ Eine Kompensation der betroffenen Verkehrsteilnehmer als *Gruppe* schließt natürlich keineswegs aus, daß es trotz Kompensation noch *einzelne* Verkehrsteilnehmer gibt, die sich durch die Abgabenerhebung verschlechtern.

²⁷ Dies kann z.B. in Form eines Freibetrages (oder der Km-Pauschale) für Berufspendler bei der Einkommensteuer geschehen, der dann auch noch wahlweise verkehrsmittelab- oder -unabhängig ausgestaltet werden kann.

0,20 DM und unter Berücksichtigung von laufenden Erhebungskosten in Höhe von 10% der Einnahmen²⁸ es möglich ist, durch eine entsprechende Rückverteilung jeden Pendler wohlfahrtsmäßig besser zu stellen. Je nach verteilungspolitischer Zielvorstellung lassen sich dann durch entsprechende Ausgestaltung der Rückverteilungsmodalitäten die unterschiedlichsten Gruppen begünstigen.

Ein häufiges Gegenargument gegen eine Rückerstattung an die betroffenen Verkehrsteilnehmer lautet, daß dadurch die Lenkungswirkung der Abgabe konterkariert werde, da die Menschen durch die Rückverteilung genausoviel Einkommen wie vorher hätten und daher ihr Verhalten nicht verändern werden. Dem ist allerdings entgegenzuhalten, daß selbst eine vollständige Rückverteilung der Einnahmen volkswirtschaftlich durchaus Sinn machen kann, denn durch die Rückverteilung kann allenfalls der Einkommenseffekt der Verteuerung des Autofahrens beseitigt werden, nicht aber der Substitutionseffekt, da es zu einer Veränderung der relativen Preise und damit zu der gewünschten Lenkungswirkung kommt.

4. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Untersuchungsziel war eine Abschätzung der Auswirkungen der Erhebung von Straßenbenutzungsabgaben in einer Großstadt auf die Wohlfahrt von Berufspendlern. Dazu wurde aus dem mikroökonomischen Entscheidungskalkül der Pendler ein binäres Logitmodell abgeleitet. Dieses Modell wurde mit Daten über das Verhalten von Dresdner Pendlern ökonometrisch geschätzt. Unter Anwendung der HICKSSchen Wohlfahrtsmaße auf das geschätzte Logitmodell wurden schließlich die Wohlfahrtsverluste durch eine Straßenbenutzungsabgabe pro Arbeitsweg für Pendler aus verschiedenen Einkommensgruppen berechnet.

Es zeigte sich, daß der Wohlfahrtsverlust mit steigendem Einkommen absolut zurückgeht. Zurückzuführen ist dies aber weniger auf die direkte monetäre Belastung durch die Abgabe, sondern vielmehr auf die steigenden Wohlfahrtsgewinne in Folge verringerter Fahrzeiten. Diese sind darauf zurückzuführen, daß die Bewertung der eingesparten Zeit mit steigendem Einkommen zunimmt. Die These, daß Road Pricing - ohne Berücksichtigung der Einnahmenverwendung - die

²⁸ Die Schätzungen über den Anteil der laufenden Erhebungskosten an den jährlichen Einnahmen aus Road Pricing schwanken sehr stark. Während z.B. SMALL (1992b) von ca. 5% ausgeht, wird der Anteil in einer umfassenden Road Pricing-Studie für London je nach Ausgestaltung und Höhe der Abgabe auf 10 bis 50% geschätzt (vgl. RICHARDS u.a. (1996)).

wohlhabenden Verkehrsteilnehmer geringer belastet als die weniger wohlhabenden, konnte für die hier untersuchte Gruppe der betroffenen Verkehrsteilnehmer bestätigt werden. Allerdings sind in fast allen untersuchten Szenarien die quantitativen Unterschiede in den Belastungen der einzelnen Einkommensgruppen doch eher gering.

Diese Feststellung ist gleichwohl aus ökonomischer Sicht kein Argument gegen die Einführung von Straßenbenutzungsabgaben in Form eines Congestion Pricings, da man allokativen Gesichtspunkte - hier die effiziente Verteilung der knappen Ressource „Straßennutzung“ - von Verteilungsaspekten trennen sollte. Eine theoretisch wohlfahrtsoptimale Abgabe führt zu Erlösen, deren Rückverteilung zu einer Besserstellung *aller* betroffenen Verkehrsteilnehmer führen kann. Bei der Anwendung in der Praxis, bei der die Höhe der Abgabe und die Erhebungsform sicher eher nach Praktikabilitäts- und weniger nach Effizienzgesichtspunkten festgesetzt werden dürfte, könnten die Erlöse nach Abzug der Erhebungskosten für eine Besserstellung aller Betroffenen evtl. nicht ausreichen. Gleichwohl besteht durch eine entsprechende Verwendung der Einnahmen aus Road Pricing Spielraum, Korrekturen an nicht erwünschten Verteilungswirkungen vorzunehmen.

Literaturverzeichnis

- Abay, C., Zehnter, C. (1992): *Road Pricing für die Agglomeration Bern - Ein Vorschlag*, Bericht 16 des NFP 'Stadt und Verkehr', Zürich.
- ADAC (1993): *Autokosten und Steuern 1993*, München.
- Bartley, B. (1995): „Mobility Impacts, Reactions and Opinions - Traffic demand management options in Europe: The MIRO Project“, in: *Traffic Engineering and Control*, Vol. 36, S. 596-603.
- Ben-Akiva, M., Lerman, S. (1985): *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, Cambridge.
- Boadway, R., Bruce, N. (1984): *Welfare Economics*, Oxford.
- Gomez-Ibanez, J. (1992): „The Political Economy of Highway Tolls and Congestion Pricing“, in: *Transportation Quarterly*, Vol. 46, S. 343-360.
- Goodwin, P. B. (1989): „The 'Rule of Three': A Possible Solution to the Political Problem of Competing Objectives to Road Pricing“, in: *Traffic Engineering and Control*, Vol. 30, S. 495-487.
- Hau, T. (1985): „A Hicksian Approach to Cost-Benefit Analysis with Discrete-Choice Models“, in: *Economica*, Vol. 52, S. 479-490.
- Hau, T. (1992): *Economic Fundamentals of Road Pricing: A Diagrammatical Analysis*, World Bank Policy Research Working Paper Series, WPS No. 1070, December, The World Bank, Washington, D.C.
- Jara-Diaz, S., Farah, M. (1987): „Transport Demand and Users' Benefits with Fixed Income: The Goods/Leisure Trade off Revisited“, in: *Transportation Research*, Vol. 21 B, S. 165-170.
- Jara-Diaz, S., Farah, M. (1988): „Valuation of Users' Benefits in Transport Systems“, in: *Transport Reviews*, Vol. 8, S. 197-218.
- Jara-Diaz, S., de Ortúzar, J. (1989): „Introducing the Expenditure Rate in the Estimation of Mode Choice Models“, in: *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 23, S. 293-308.
- Jones, P. (1991): „Gaining Public Support for Road Pricing through a Package Approach“, in: *Traffic Engineering and Control*, Vol. 32, S. 194-196.
- Knight, F. (1924): „Some Fallacies in the Interpretation of Social Cost“, in: *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 38, S. 582-606.
- Landeshauptstadt Dresden (1994): *Kommunale Bürgerumfrage 1993 - Ergebnisse in Dresden und im Umland*, Amt für Informationsverarbeitung, Statistik und Wahlen, Dresden.
- Maier, G., Weiss, P. (1990): *Modelle diskreter Entscheidungen*, Wien.

- Ministry of Transport (1964): *Road Pricing: The Economic and Technical Possibilities*, London.
- Morrison, S. (1986): „A Survey of Road Pricing“, in: *Transportation Research A*, Vol. 20 A, S. 87-97.
- Pigou, A. (1920): *The economics of welfare*, 1. Auflage, London.
- Richards, M, Gilliam, C., Larkinson, J. (1996): „The London Congestion Charging Research Programme- 6. Findings“, in: *Traffic Engineering and Control*, Vol. 37, S. 436-441.
- Small, K. (1992a): *Urban Transportation Economics*, Chur.
- Small, K. (1992b): „Using the Revenues from Congestion Pricing“, in: *Transportation*, Vol. 19, S. 359-381.
- Small, K., Rosen, S. (1981): „Applied Welfare Economics with Discrete Choice Models“, in: *Econometrica*, Vol. 49, S. 105-130.
- Teubel, U. (1997): „Verteilungswirkungen von Straßenbenutzungsgebühren in einem städtischen Ballungsraum“, in: *Internationales Verkehrswesen*, 49. Jhg., S. 97-103.
- Train, K., McFadden, D. (1978): „The Goods/Leisure Tradeoff and Disaggregate Work Trip Mode Choice Models“, in: *Transportation Research*, Vol. 12, S. 349-353.
- TÜV Rheinland (1995): *Feldversuch „Autobahntechnologien A 555“ - Ergebnisse und Vorschläge*, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr.
- Varian, H. (1992): *Microeconomic Analysis*, 3. Auflage, New York.
- Walters, A. (1961): „The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion“, in: *Econometrica*, Vol. 29, S. 676-699.

Anhang

Tabelle 9: Schätzergebnisse des binären Logitmodell für verschiedene Werte von a

	a=0	a=0.3	a = 0.5	a = 0.7	a=1
Variable	Parameter (t-Wert)	Parameter (t-Wert)	Parameter (t-Wert)	Parameter (t-Wert)	Parameter (t-Wert)
Konstante (Auto)	-2,42 (-7,44)	-2,43 (-7,30)	-2,43 (-7,21)	-2,45 (-7,16)	-2,46 (-7,16)
Fahrzeit * (Einkommen) ^{1-a} (Auto, ÖPNV)	-4,5E-06 (-2,08)	-6,5E-05 (-2,21)	-0,0004 (-2,24)	-0,002 (-2,21)	-0,0247 (-2,10)
Fahrkosten * (Einkommen) ^a (Auto, ÖPNV)	-0,0712 (-0,57)	-1,37 (-1,05)	-8,58 (-1,45)	-48,23 (-1,87)	-530,83 (-2,42)
Geschlecht (Auto)	1,83 (11,11)	1,83 (11,13)	1,83 (11,15)	1,84 (11,17)	1,85 (11,21)
PKW-Verfügbarkeit (Auto)	2,88 (8,34)	2,89 (8,36)	2,91 (8,39)	2,93 (8,41)	2,94 (8,43)
Dummy = 1, wenn Alter zwischen 30 und 50 Jahren (Auto)	0,36 (2,21)	0,35 (2,19)	0,35 (2,16)	0,34 (2,12)	0,34 (2,10)
Dummy = 1, wenn Arbeits- ort sich im Stadtzentrum befindet (Auto)	-0,40 (-2,53)	-0,40 (-2,55)	-0,41 (2,57)	-0,41 (2,58)	-0,41 (-2,59)
Anzahl der untersuchten Fälle	920	920	920	920	920
Log Likelihood:					
Modell ohne Variablen L(0)	-637,70	-637,70	-637,70	-637,70	-637,70
Konstantenmodell L(c)	-601,60	-601,60	-601,60	-601,60	-601,60
endgültiger Wert L(β)	-485,81	-485,58	-485,29	-484,95	-484,28
Likelihood-Ratio-Test					
-2 [L(0)-L(β)]	303,78	304,24	304,82	305,50	306,84
-2 [L(c)-L(β)]	231,58	232,04	232,62	233,30	234,64
Likelihood-Ratio-Index ρ^2 (mit L(0))	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
korrigierter Likelihood- Ratio-Index $\bar{\rho}^2$ (mit L(0))	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23

Bisher sind als Diskussionsbeiträge erschienen:

- 1/97 **Bröcker, Johannes:** How would an EU-membership of the Visegrád-countries affect Europe's economic geography?
- 2/97 **Teubel, Ulf:** Wirkung von Straßenbenutzungsabgaben auf die Wohlfahrt von Berufspendlern - eine empirische Analyse -